

**СОСТАВ ФОТОСИНТЕТИЧЕСКИХ ПИГМЕНОВ У *ZOSTERA MARINA* И
ZOSTERA JAPONICA В ЭСТУАРИИ РЕКИ ОЛЬГА
(ЦЕНТРАЛЬНОЕ ПРИМОРЬЕ)**

С.А. Даниленко, А.В. Ольховик

*Тихоокеанский научно-исследовательский рыбохозяйственный центр (ТИНРО-центр),
пер. Шевченко, 4, Владивосток, 690950 Россия. E-mail: ir_lana@live.ru*

Исследовано содержание и соотношение фотосинтетических пигментов у двух видов zostеры, произрастающих в эстуарии реки Ольга (центральное Приморье). На фоне значительных межвидовых различий в концентрации, их процентное соотношение было примерно одинаковым: Хлорофилл *a* – 52–60 %, Хлорофилл *b* – 25–37 %, каротиноиды – 9–15 %. Установлено, что их содержание у *Z. marina* и *Z. japonica* может значительно изменяться в зависимости от условий экотопа. Полученные данные расширяют представления о пигментном комплексе эстуарных растений и могут быть использованы для диагностики состояния их фотосинтетического аппарата.

**THE PHOTOSYNTHETIC PIGMENTS COMPOSITION OF *ZOSTERA MARINA* AND
ZOSTERA JAPONICA IN THE ESTUARY OF THE OLGA RIVER
(CENTRAL PRIMORSKY TERRITORY)**

S.A. Danilenko, A.V. Ol'khovik

*Pacific Research Fisheries Centre (TINRO-Centre), 4 Shevchenko Alley,
Vladivostok, 690950, Russia. E-mail: ir_lana@live.ru*

The composition and the ratio of photosynthetic pigments were investigated in 2 species of *Zostera*, growing in the estuary of the Olga River (central Primorsky Territory). In spite of significant interspecific differences in pigments concentration, their percentages were similar: chlorophyll *a* – 52–60 %, chlorophyll *b* – 25–37 %, carotenoids – 9–15 %. It was found that their content in *Z. marina* and *Z. japonica* can vary considerably depending on the environmental conditions. The data obtained expands the knowledge of estuarine vegetation pigment complex and can be used for diagnostics of their photosynthetic apparatus condition.

Виды рода *Zostera* – вторичноводные покрытосеменные растения, произрастающие в морской и солоноватоводной среде. В эстуарных экосистемах Приморья *Z. marina* и *Z. japonica* являются одними из доминирующих видов, и играют значительную роль в структурно-функциональной организации сообществ и образовании первичной продукции. Качественный и количественный состав фотосинтетических пигментов является показателем физиологической приспособленности растений к условиям окружающей среды. Адаптивные перестройки светособирающего комплекса в ответ на изменения факторов внешней среды (освещение, температура, концентрация биогенных элементов и т.д.) способствуют поддержанию у растений высокого уровня первичной продукции (Андриянова, Тарчевский, 2000). Поэтому изучение содержания и соотношения пигментов является одним из путей определения факторов и механизмов, регулирующих продуктивность растительных сообществ. К настоящему времени детально исследованы спектральные свойства

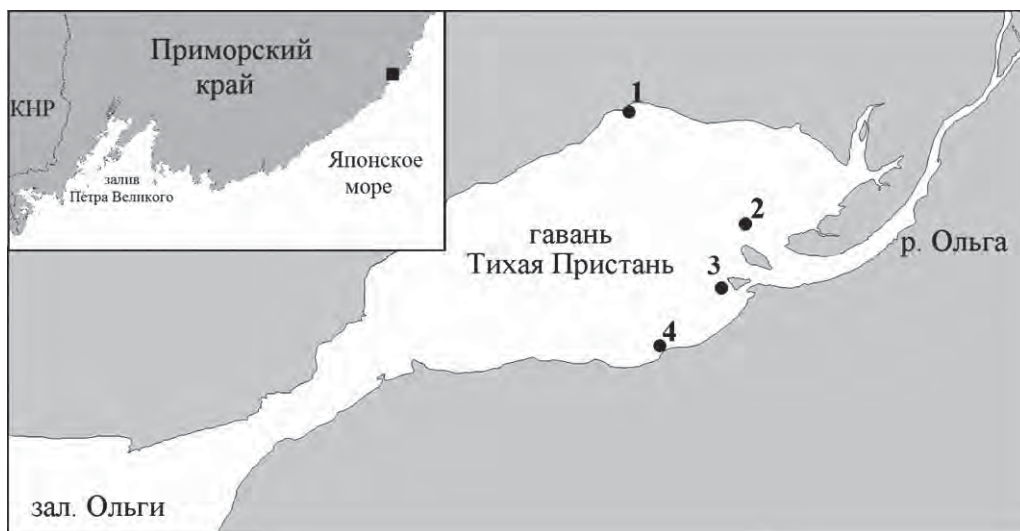


Рис. 1. Станции отбора проб zostеры.

и биосинтез основных фотосинтетических пигментов, разработана концепция антенных комплексов и реакционных центров, выявлены фундаментальные механизмы фотосинтеза (Blankenship, 2002). Вместе с тем, значительное разнообразие таксонов растений и экологических условий их обитания определяют актуальность изучения роли пигментов в устойчивости и регуляции активности фотосинтетического аппарата. Исследования фотосинтетического аппарата проводились в основном у наземных культивируемых растений (Коротченко, 2011), а также у микроводорослей (Сигарева и др., 2005). Сведения по содержанию пигментов в эстуарной растительности из природных популяций весьма ограничены (Марковская, Корзунина, 2010).

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Пробы zostеры отбирали в сентябре 2012 г. на 4 станциях в эстуарии реки Ольга (зал. Ольги) (рис. 1). Были отобраны 6 проб: *Z. japonica* (ст. 1, 2, 3, 4) и *Z. marina* (ст. 1, 3).

Для определения содержания пигментов использовали свежие растения. Навески массой 0,1 г отбирали в 3-х кратной повторности. Параллельно были взяты пробы для определения сухой массы. Пробы растирали с кварцевым песком в холодном 96 %-ном этаноле с добавлением карбоната кальция для нейтрализации клеточного сока и предотвращения феофитинизации пигментов. Концентрацию хлорофиллов (Хла, Хлб) и каротиноидов (Кар) определяли по общепринятым методикам (Lichtestaller, Wellburn, 1983; Маслова и др., 1986). Спектры поглощения экстрактов регистрировали на спектрофотометре Shimadzu UV-3100S (Япония) при 665 и 649 нм для хлорофилла *a* и *b*, соответственно, и 470 нм для каротиноидов. Содержание пигментов выражали в миллиграммах на грамм сухой массы.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

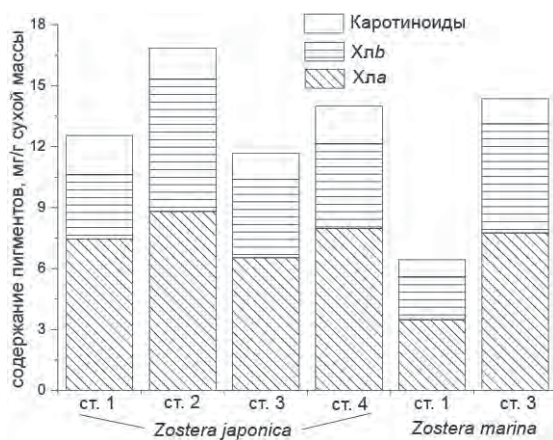
Z. japonica из четырех биотопов различалась по уровню накопления пигментов (рис. 2). В растениях этого вида со станции 2 (устье р. Ольга) содержание пигментов было максимальным (16,9 мг/г сух. массы) в условиях максимальной прозрачности воды. На других станциях, в более мутной воде, содержание пигментов составляло 11,7–14,0 мг/г сух. массы (табл. 1).

Морские травы *Z. marina* и *Z. japonica* имеют сходный пигментный аппарат, но его активность зависит от условий произрастания, что проявляется в варьировании содержания

Таблица 1

Содержание пигментов у *Zostera marina* и *Z. japonica* в зависимости от прозрачности воды

Растение	Станция	Содержание пигментов, мг/г сух. массы	Глубина отбора пробы, м	% от прозрачности по диску Секки
<i>Z. japonica</i>	1	12,55	0,4	60
	2	16,86	0,2	0
	3	11,68	0,3	70
	4	13,99	0,3	60
<i>Z. marina</i>	1	6,43	0,7	120
	3	14,36	0,4	90

Рис. 2. Среднее содержание пигментов у *Zostera marina* и *Z. japonica* из эстуария р. Олга.

пигментов (до двух раз) у растений из разных экотопов. Так, содержание пигментов у *Z. marina* с двух станций значительно различалось (табл. 1): на станции с более мутной водой эта величина была равна 6,4 мг/г сух. массы, в условиях большей прозрачности – 14,4 мг/г сух. массы. В процентном отношении содержание Xла было одинаковым – 54 %, но у растений со ст. 3 было больше Xlb (37 %) и меньше Кар (9 %). Высокое относительное содержание каротиноидов у *Z. marina* со станции 1 (13 %) отражает устойчивость желтых пигментов к повреждающим условиям среды и их защитную функцию (Карнаухов, 1988).

Таким образом, у двух видов zostеры увеличение содержания фотосинтетических пигментов было пропорционально прозрачности и степени прогрева воды. Температура является основным фактором развития водных растений. Хорошая освещенность также способствует высокой эффективности работы светособирающего комплекса, что, по-видимому, позволяет zostере поддерживать высокий уровень фотосинтетической продукции в летний период. При этом следует отметить разнонаправленный характер адаптации пигментной системы двух исследованных видов из одних и тех же биотопов (станции 1 и 3).

Пигментный аппарат растений охарактеризован с помощью таких расчетных параметров как соотношение хлорофиллов *a* и *b* ($Xла/Xlb$), а также отношение суммы хлорофиллов к каротиноидам ($Xла+б/Кар$), которые являются показателями хроматической адаптации. Отношение $Xла/Xlb$ связано с активностью «главного» хлорофилла *a*. Чем выше его значение, тем интенсивнее фотосинтез. У большинства видов наземных растений оно варьирует в пределах 2,0–3,5 и лишь у отдельных видов достигает 4,0 (Головко и др., 2010). По нашим данным, у исследованных растений оно изменялось в узком диапазоне – 1,3–2,5 (табл. 2). Данное соотношение было несколько повышенным у zostеры японской со станции 1. Как было отмечено выше (табл. 1), на этой станции наблюдалась наибольшая мутность воды, то есть создавались условия затенения для донной растительности. Адаптация фотосинтетического аппарата проявляется в возрастании доли вспомогательных пигментов (Xlb и каротиноидов), увеличивающем способность растения в целом

Таблица 2
Соотношение пигментов (M±SD) у *Zostera marina* и *Z. japonica* из эстуария р. Ольга

Растение	Станция	Хла/Хлв	Хла+b/Кар
<i>Z. japonica</i>	1	2,38 ± 0,27	5,53 ± 0,56
	2	1,34 ± 0,17	10,14 ± 1,44
	3	1,68 ± 0,12	8,09 ± 0,33
	4	1,91 ± 0,01	6,54 ± 0,14
<i>Z. marina</i>	1	1,83 ± 0,11	7,08 ± 0,70
	3	1,46 ± 0,18	10,92 ± 2,84

было очень низким (7–9 % от общего количества пигментов). Известно, что каротиноиды в растениях выполняют не только светособирающую функцию, но и защитную, предотвращая окисление хлорофиллов при одноэлектронных переносах (Карнаухов, 1988). По-видимому, уменьшение уровня Кар связано с их окислением, а, следовательно, с защитным антиоксидантным действием. Эта защита должна способствовать увеличению фотосинтетической активности водоросли под влиянием повышенной солнечной радиации, так как на фоне столь низкого уровня Кар концентрация хлорофиллов остается высокой.

Анализ двух видов зостеры из разных условий произрастания показал, что варьирование содержания пигментов достигает 2–3 раз. Для *Z. marina* со ст. 1 было характерно низкое содержание как хлорофиллов, так и каротиноидов. Эти данные показывают, что эстуарные растения изменяют содержание пигментов в зависимости от локальных условий. Широкий диапазон значений обусловлен большим разнообразием экотопов и изменчивыми условиями в эстуариях. По литературным данным (Larkum *et al.*, 2006) содержание хлорофиллов в *Z. marina* может увеличиваться в 5 раз при снижении освещенности. У растений этого вида, произрастающих в Кандалакшском заливе Белого моря, содержание Хла составляло 3,8, Хлв – 1,4, Кар – 2,4 мг/г сухой массы (Марковская, Корзунина, 2010).

Обычно количество пигментов, приходящееся на единицу веса, различно у растений, адаптированных к разным условиям освещения: наибольшее общее содержание хлорофилла и каротиноидов наблюдается у теневыносливых растений. Повышение уровня пигментов было отмечено у красных водорослей при снижении освещения (Кравченко и др., 2011). Это позволяет водным растениям адаптироваться к произрастанию на различных глубинах, где отмечается не только резкое снижение освещенности, но и значительное изменение спектрального состава света. В пределах эвфотической зоны в области светового насыщения преобладает потенциально активный «чистый» хлорофилл, в области светового лимитирования – феопигменты (Сигарева и др., 2005).

Таким образом, исследовано содержание и соотношение фотосинтетических пигментов у двух видов зостеры, произрастающих в приустьевой зоне реки Ольга. Установлено, что у *Z. marina* и *Z. japonica* их содержание может значительно изменяться в зависимости от условий экотопа. На фоне этих различий, процентное соотношение пигментов было примерно одинаковым: Хла – 52–60 %, Хлв – 25–37 %, Кар – 9–15 %. Полученные данные расширяют представления о пигментном комплексе эстуарной растительности и могут быть использованы для диагностики состояния их фотосинтетического аппарата.

ЛИТЕРАТУРА

Андриянова Ю.А., Тарчевский И.А. 2000. Хлорофилл и продуктивность растений. М.: Наука. 135 с.

поглощать световую энергию. Подобный эффект наблюдался у зостеры морской при обилии нитчатых водорослей (Марковская, Корзунина, 2010).

Отношение Хла+b/Кар играет не менее важную роль при характеристике работы фотосинтетического аппарата. Это соотношение в норме стабильно, и очень чутко реагирует на изменения различных факторов среды. Приведенные данные (табл. 2) указывают, что в отдельных пробах зостеры оно было аномально высоким, то есть относительное содержание каротиноидов

- Головко Т.К., Далькэ И.В., Дымова О.В., Захожий И.Г., Табаленкова Г.Н. 2010.** Пигментный комплекс растений природной флоры европейского северо-востока // Известия Коми научного центра УрО РАН. № 1. С. 39–46.
- Карнаухов В.Н. 1988.** Биологические функции каротиноидов. М.: Наука. 240 с.
- Коротченко И.С. 2011.** Влияние тяжелых металлов на содержание фотосинтетических пигментов в листьях моркови // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. № 4. С. 86–91.
- Кравченко А.О., Белоциценко Е.С., Яковлева И.М., Барабанова А.О., Ермак И.М. 2011.** Сезонные изменения содержания фотосинтетических пигментов у красной водоросли *Ahnfeltiopsis flabelliformis* Японского моря // Изв. ТИНРО. Т. 166. С. 138–148.
- Марковская Е.Ф., Корзунина А.А. 2010.** Фотосинтетические пигменты *Zostera marina* (Zosteraceae) // Бот. журн. Т. 95. № 10. С. 1449–1457.
- Сигарева Л.Е., Тимофеева Н.А., Зубишина А.А., Бабаназарова О.В. 2005.** Оценка продуктивности микрофитобентоса оз. Плещеево по растительным пигментам // Водные ресурсы. Т. 32. № 6. С. 739–748.
- Blankenship R.E. 2002.** Molecular Mechanisms of Photosynthesis. Blackwell Science, 321 p.
- Larkum A., Orth R., Duarte C. 2006.** Seagrasses: Biology, Ecology and Conservation. The Netherlands, 690 p.
- Lichtestaller H.K., Wellburn A.R. 1983.** Determination of total carotenoids and chlorophylls *a* and *b* of leaves extracts in different solvents // Biochem. Soc. Trans. V. 11. N 5. P. 591–592.